



## Лабораторная работа №7.

Обработка результатов прямых и косвенных однократных измерений

Цель работы:

- приобретение навыков планирования и выполнения прямых и косвенных однократных измерений. Получение опыта по выбору средств измерений, обеспечивающих решение поставленной измерительной задачи. Изучение способов обработки и правильного представления результатов прямых и косвенных однократных измерений.

На рисунке 1 представлена схема виртуального лабораторного стенда.

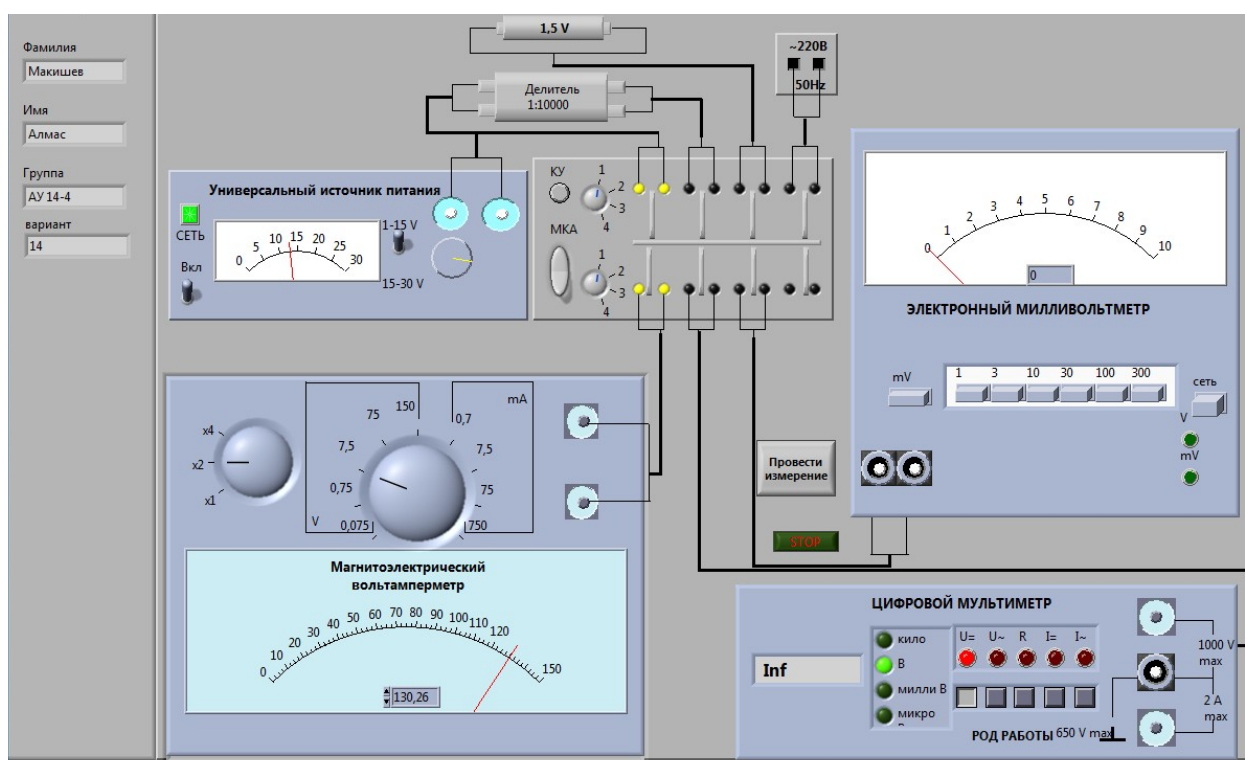


Рисунок 1 – Схема виртуального лабораторного стенда

На виртуальном лабораторном стенде находятся модели следующих средств измерений: модель магнитоэлектрического вольтамперметра; модель электронного аналогового милливольтметра; модель цифрового мультиметра; модель универсального источника питания; модель источника питания переменного тока; модель гальванического элемента; модель делителя напряжения; модель коммутационного устройства.

# 1) Прямые измерения напряжения на выходе УИП

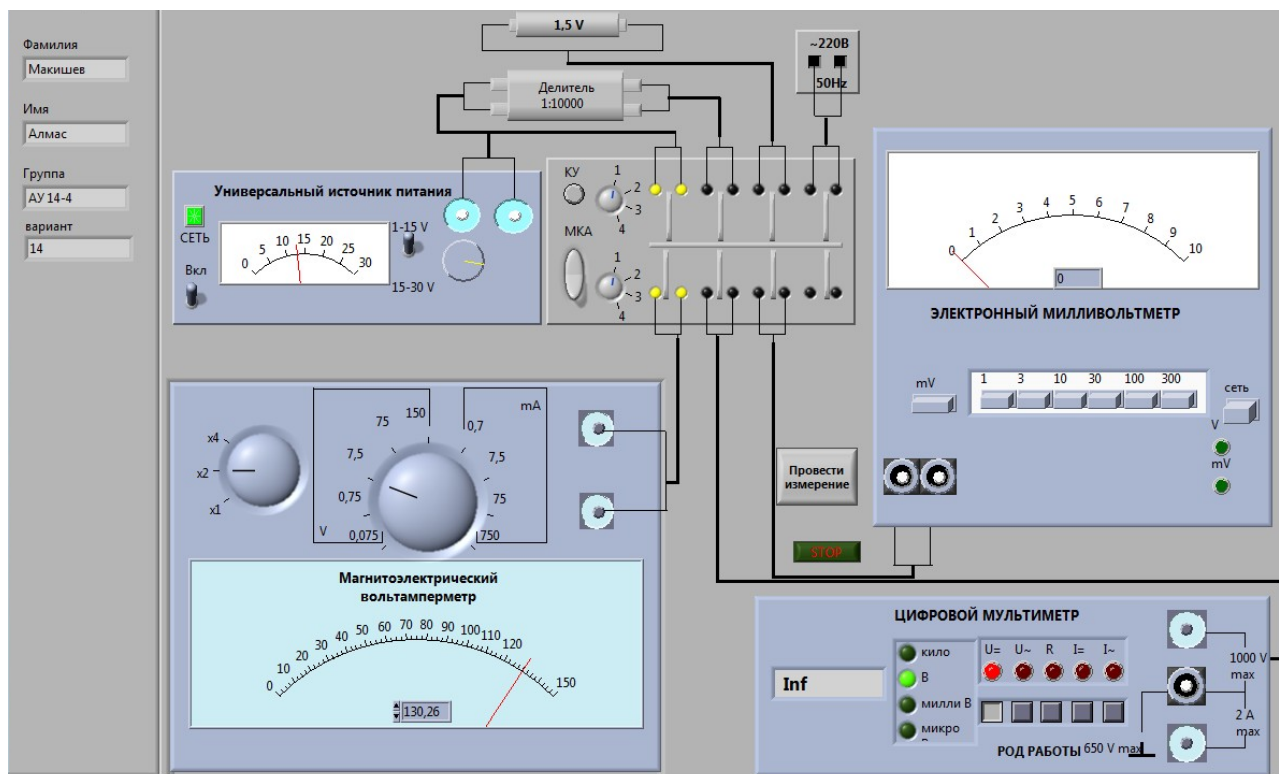


Рисунок 2. - Соединение УИП+магнитоэлектрический вольтамперметр

Т а б л и ц а 1 - Прямые измерения напряжения на выходе УИП

Вольтметр: <u>магнитоэлектрический вольтамперметр</u> класс точности : <u>0,5</u>						
№ п/п	Входн. напр-е, В	Показания вольт-ра, В	Диапазон измерения, В	Абсолют. погреш-ть, В	Относит. погреш-ть, %	Результат измерения, В
1	13,022	13,026	0-15	0,075	0,576	13,03±0,08
2	10,7404	10,7404	0-15	0,075	0,698	10,74±0,15
3	24,495	24,498	0-30	0,15	0,612	24,50±0,15

$$\Delta_1 = (\gamma * X_N) / 100\% = (0,5 * 15) / 100\% = 0,075 \text{ В};$$

$$\Delta_2 = (\gamma * X_N) / 100\% = (0,5 * 15) / 100\% = 0,075 \text{ В};$$

$$\Delta_3 = (\gamma * X_N) / 100\% = (0,5 * 30) / 100\% = 0,15 \text{ В}.$$

$$\delta_1 = (\Delta_1 / X_D) * 100\% = (0,075 / 13,026) * 100\% = 0,576 \%$$

$$\delta_2 = (\Delta_2 / X_D) * 100\% = (0,075 / 10,7404) * 100\% = 0,698 \%$$

$$\delta_3 = (\Delta_3 / X_D) * 100\% = (0,15 / 24,498) * 100\% = 0,612 \%$$

## 2) Прямые измерения ЭДС гальванического элемента

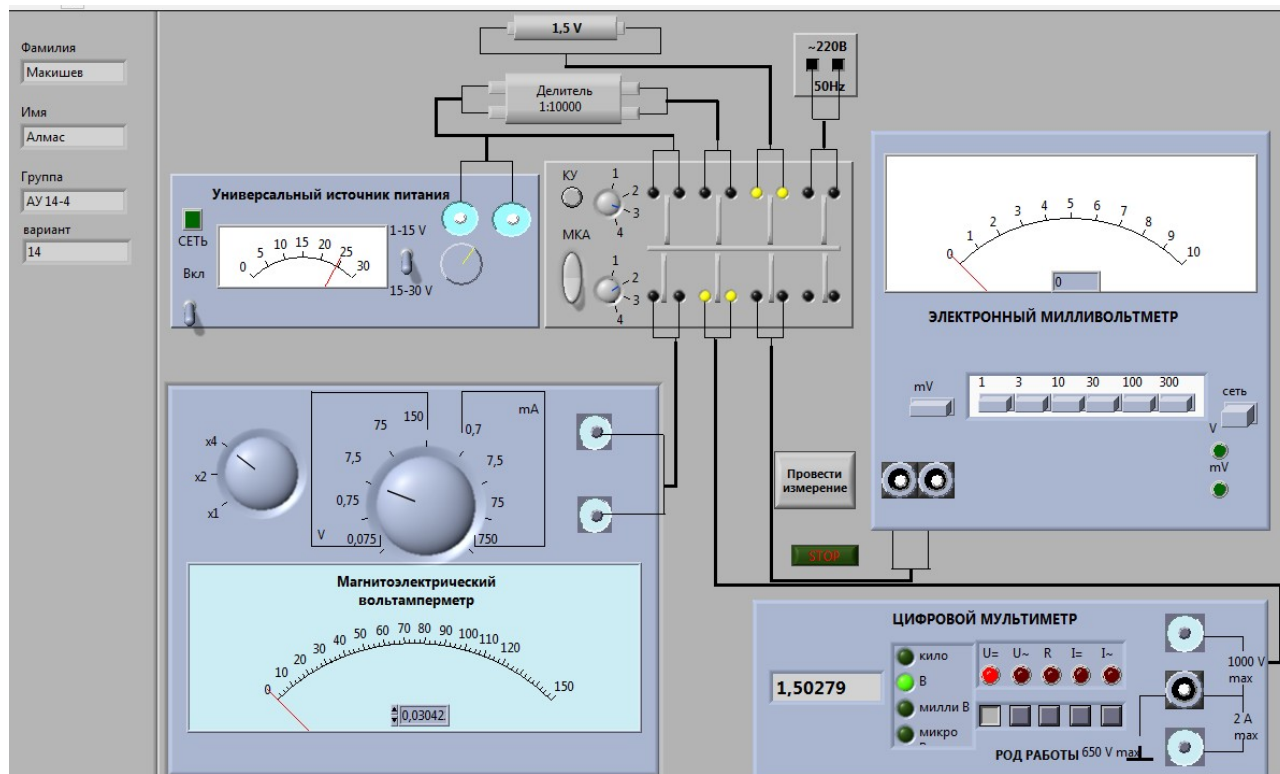


Рисунок 3. – Соединение гальванического элемента с цифровым мультиметром.

Т а б л и ц а 2 - Прямые измерения ЭДС гальванического элемента

Вольтметр: Цифровой мультиметр		класс точности <u>0,1/0,02</u>				
№ п/п	Входн. напр-е, В	Показания вольт-ра, В	Диапазон измерения, В	Абсолют. погреш-ть, В	Относит. погреш-ть, %	Результат измер-я, В
1	1,5	1,50033	0,000-1,999	0,0016	0,10665	1,5003±0,0016
2	1,5	1,49735	0,000-1,999	0,001598	0,1067	1,4974±0,0016
3	1,5	1,50279	0,000-1,999	0,0016	0,1066	1,5028±0,0016

$$1) \delta = \pm [0,1 + 0,02((U_k/U) - 1)]\% = \pm [0,1 + 0,02((1,999/1,50033) - 1)]\% = \pm 0,10665\%$$

$$2) \delta = \pm [0,1 + 0,02((U_k/U) - 1)]\% = \pm [0,1 + 0,02((1,999/1,49735) - 1)]\% = \pm 0,1067\%$$

$$3) \delta = \pm [0,1 + 0,02((U_k/U) - 1)]\% = \pm [0,1 + 0,02((1,999/1,50279) - 1)]\% = \pm 0,1066\%$$

$$\Delta_1 = (\delta * X_d) / 100 = (0,10665 * 1,50033) / 100 = 0,0016 \text{ В};$$

$$\Delta_2 = (\delta * X_d) / 100 = (0,1067 * 1,49735) / 100 = 0,001598 \text{ В};$$

$$\Delta_3 = (\delta * X_d) / 100 = (0,1066 * 1,50279) / 100 = 0,0016 \text{ В}.$$

### 3) Прямые измерения переменного напряжения

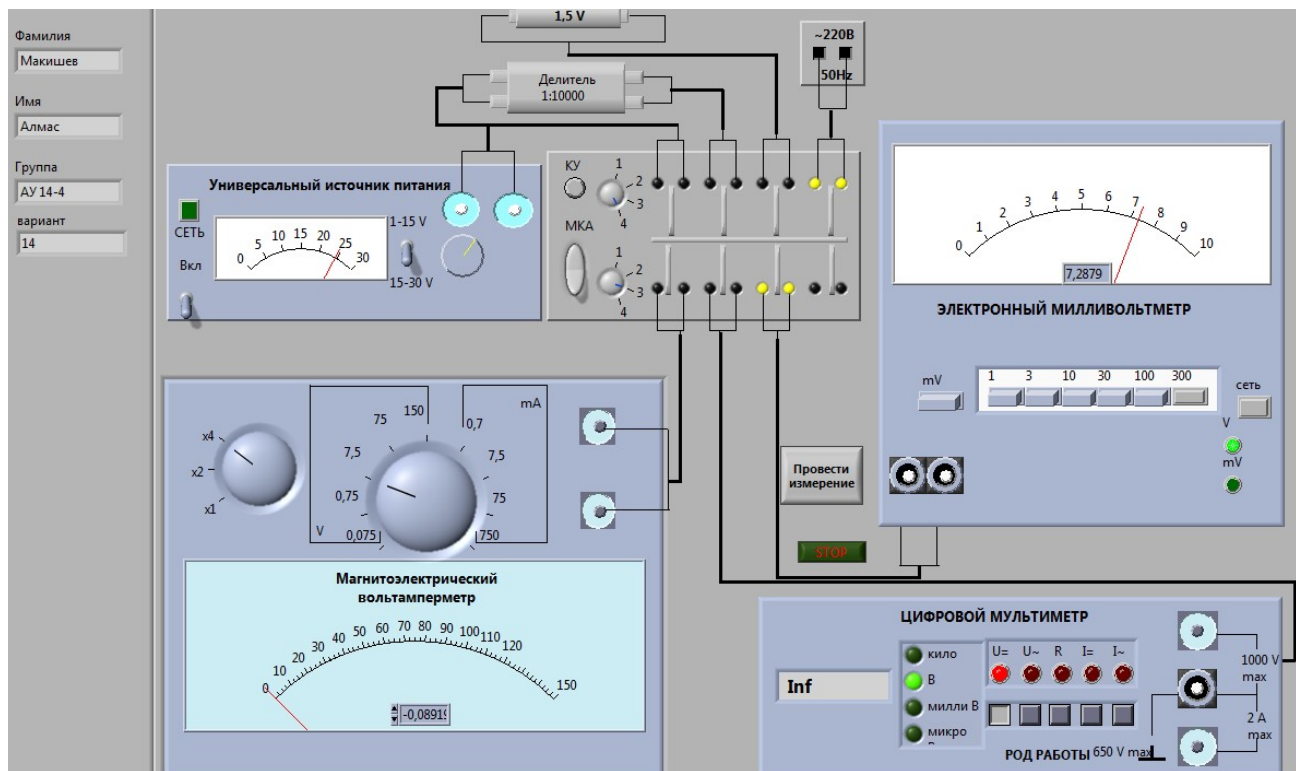


Рисунок 4. – Соединение источника питания переменного тока с электронным милливольтметром

Т а б л и ц а 3 - Прямые измерения переменного напряжения

Вольтметр: <u>Электронный милливольтметр</u> класс точности <u>0,5</u>						
№ п/п	Входн. напр-е, В	Показания вольт-ра, В	Диапазон измерения, В	Абсолют. погреш-ть, В	Относит. погреш-ть, %	Результат измер-я, В
1	220	219,7167	0-300	1,5	0,683	219,7±1,5
2	220	220,0116	0-300	1,5	0,682	220,0±1,5
3	220	218,637	0-300	1,5	0,686	218,6±1,5

$$\Delta_1 = (\gamma * X_N) / 100\% = (0,5 * 300) / 100\% = 1,5 \text{ В};$$

$$\Delta_2 = (\gamma * X_N) / 100\% = (0,5 * 300) / 100\% = 1,5 \text{ В};$$

$$\Delta_3 = (\gamma * X_N) / 100\% = (0,5 * 300) / 100\% = 1,5 \text{ В}.$$

$$\delta_1 = (\Delta_1 / X_d) * 100\% = (1,5 / 219,7167) * 100\% = 0,683 \%$$

$$\delta_2 = (\Delta_2 / X_d) * 100\% = (1,5 / 220,0116) * 100\% = 0,682 \%$$

$$\delta_3 = (\Delta_3 / X_d) * 100\% = (1,5 / 218,637) * 100\% = 0,686 \%$$

#### 4) Косвенные измерения коэффициента деления делителя

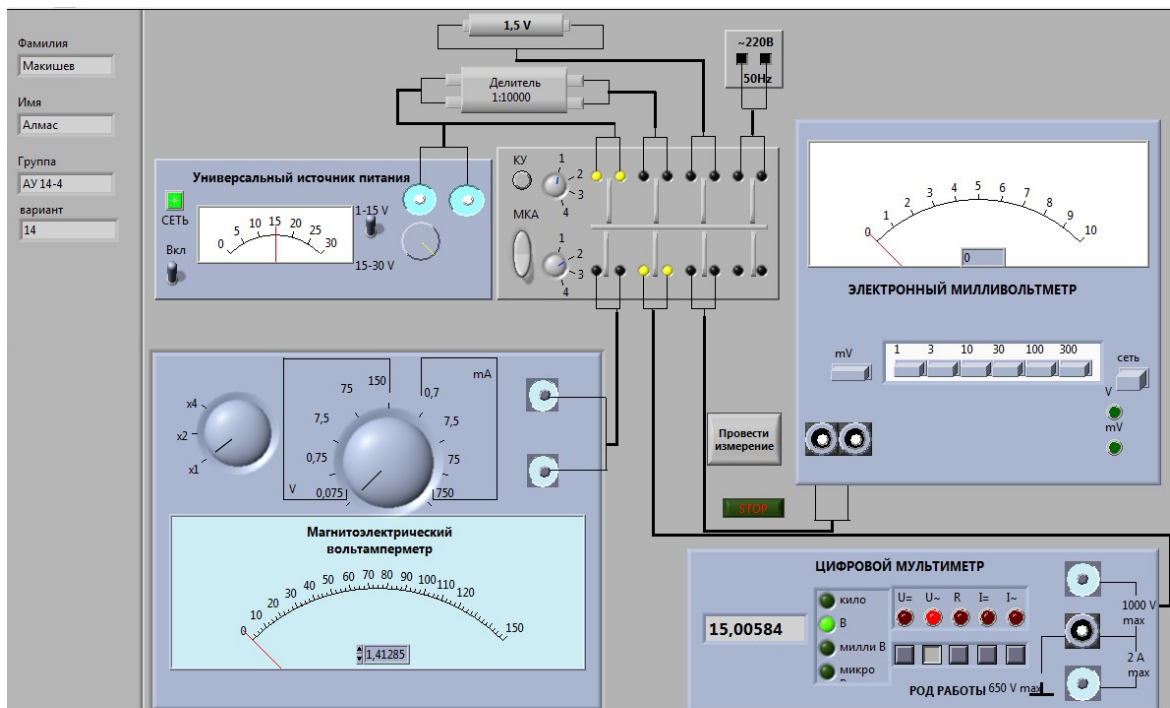


Рисунок 5.а – Соединение УИП с цифровым мультиметром

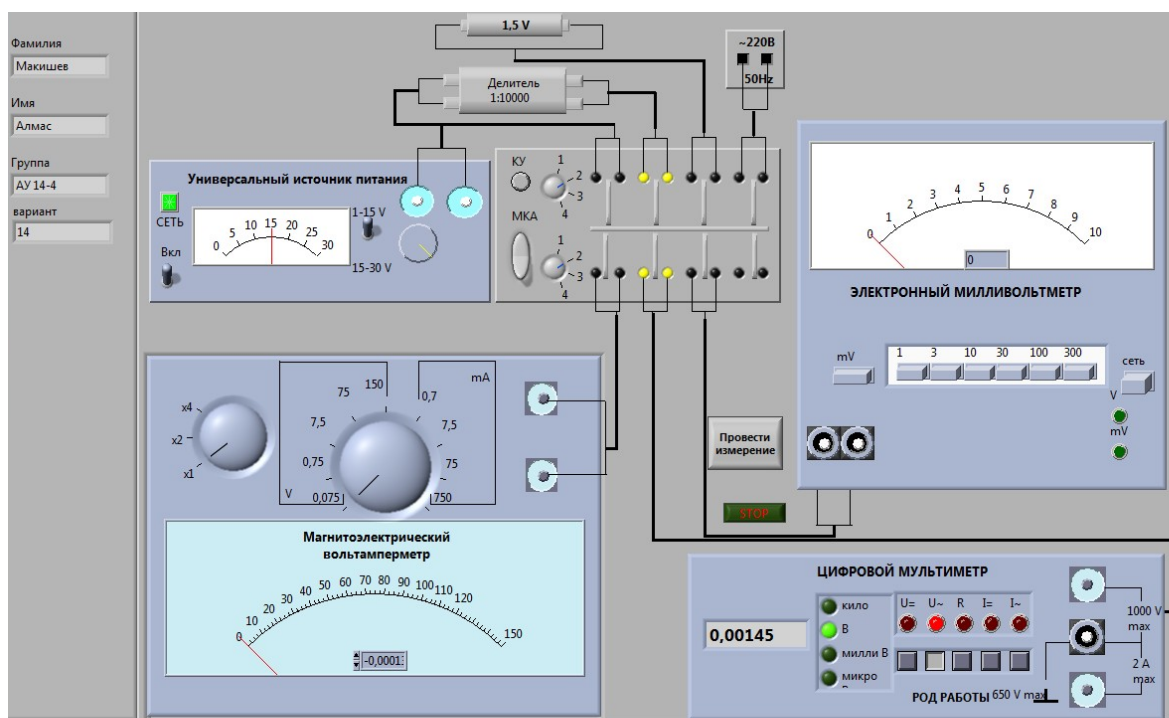


Рисунок 5.б– Соединение УИП с цифровым мультиметром через делитель

Т а б л и ц а 4 - Косвенные измерения коэффициента деления делителя напряжения

Вольтметр: магнитоэлектрический класс точности <u>0,1/0,02</u>				
Делитель напряжения: тип 1/10000 класс точности <u>0,05</u>				
№ п/п	Показания вольтметра на <i>входе</i> делителя, В	Показания вольтметра на <i>выходе</i> делителя, В	Установленный диапазон измерений на <i>входе</i> делителя, В	Установленный диапазон измерений на <i>выходе</i> делителя, мВ
1	12,19453	0,00126	0,00-19,99	0,0-199,9
2	15,00584	0,00145	0,00-19,99	0,0-199,9
3	18,00172	0,00175	0,00-19,99	0,0-199,9
№ п/п	Относительная погрешность измерения напряжения на <i>входе</i> делителя, %	Относительная погрешность измерения напряжения на <i>выходе</i> делителя, %	Относительная погрешность измерения коэффициента деления, %	Результат измерения коэффициента деления делителя
1	0,11279	3,253	3,266	10000±300
2	0,10664	2,837	2,83	10000±280
3	0,10221	2,365	2,346	10000±230

$$1) \delta_{1_{ex}} = \pm \left[ 0,1 + 0,02 \left( \frac{U_k}{U} - 1 \right) \right] \% = \pm \left[ 0,1 + 0,02 \left( \frac{19,99}{12,19453} - 1 \right) \right] \% = 0,11279 \%$$

$$\delta_{2_{ex}} = \pm \left[ 0,1 + 0,02 \left( \frac{U_k}{U} - 1 \right) \right] \% = \pm \left[ 0,1 + 0,02 \left( \frac{19,99}{15,00584} - 1 \right) \right] \% = 0,10664 \%$$

$$\delta_{3_{ex}} = \pm \left[ 0,1 + 0,02 \left( \frac{U_k}{U} - 1 \right) \right] \% = \pm \left[ 0,1 + 0,02 \left( \frac{19,99}{18,00172} - 1 \right) \right] \% = 0,10221 \%$$

$$\Delta_{1_{ex}} = \frac{\delta_{1_{ex}} * X_{\Delta}}{100 \%} = \frac{0,11279 \% * 12,19453 \text{ В}}{100 \%} = 0,0138 \text{ В}$$

$$\Delta_{2_{ex}} = \frac{\delta_{2_{ex}} * X_{\Delta}}{100 \%} = \frac{0,10664 \% * 15,00584 \text{ В}}{100 \%} = 0,016 \text{ В}$$

$$\Delta_{3_{ex}} = \frac{\delta_{3_{ex}} * X_{\Delta}}{100 \%} = \frac{0,10221 \% * 18,00172 \text{ В}}{100 \%} = 0,0184 \text{ В}$$

$$2) \delta_{1_{ex}} = \pm \left[ 0,1 + 0,02 \left( \frac{U_k}{U} - 1 \right) \right] \% = \pm \left[ 0,1 + 0,02 \left( \frac{0,1999}{0,00126} - 1 \right) \right] \% = 3,253 \%$$

$$\delta_{2_{ex}} = \pm \left[ 0,1 + 0,02 \left( \frac{U_k}{U} - 1 \right) \right] \% = \pm \left[ 0,1 + 0,02 \left( \frac{0,1999}{0,00145} - 1 \right) \right] \% = 2,837 \%$$

$$\delta_{3_{ex}} = \pm \left[ 0,1 + 0,02 \left( \frac{U_k}{U} - 1 \right) \right] \% = \pm \left[ 0,1 + 0,02 \left( \frac{0,1999}{0,00175} - 1 \right) \right] \% = 2,365\%$$

$$\Delta_{1_{ex}} = \frac{\delta_{1_{ex}} * X_{II}}{100\%} = \frac{3,253\% * 0,00126 B}{100\%} = 0,000041 B$$

$$\Delta_{2_{ex}} = \frac{\delta_{2_{ex}} * X_{II}}{100\%} = \frac{2,837\% * 0,00145 B}{100\%} = 0,000041 B$$

$$\Delta_{3_{ex}} = \frac{\delta_{3_{ex}} * X_{II}}{100\%} = \frac{2,365\% * 0,00175 B}{100\%} = 0,000041 B$$

$$3) K_1 = \frac{U_{ex}}{U_{ex}} = \frac{0,00126}{12,19453} = 0,000103$$

$$K_2 = \frac{U_{ex}}{U_{ex}} = \frac{0,00145}{15,00584} = 0,0000966$$

$$K_3 = \frac{U_{ex}}{U_{ex}} = \frac{0,00175}{18,00172} = 0,0000972$$

$$4) \Delta K = \sqrt{\left( \frac{\partial K}{\partial U_{ex}} \Delta U_{ex} \right)^2 + \left( \frac{\partial K}{\partial U_{ex}} \Delta U_{ex} \right)^2}$$

$$\frac{\partial K}{\partial U_{ex}} = \frac{1}{U_{ex}}; \quad \frac{\partial K}{\partial U_{ex}} = \frac{U_{ex}}{U_{ex}^2}$$

$$\Delta K = \sqrt{\left( \frac{\Delta U_{ex}}{U_{ex}} \right)^2 + \left( \frac{U_{ex}}{U_{ex}^2} \Delta U_{ex} \right)^2}$$

$$\Delta K_1 = \sqrt{\left( \frac{0,000041}{12,19453} \right)^2 + \left( \frac{0,00126}{12,19453^2} * 0,0138 \right)^2} = 3,364 * 10^{-6}$$

$$\Delta K_2 = \sqrt{\left( \frac{0,000041}{15,00584} \right)^2 + \left( \frac{0,00145}{15,00584^2} * 0,016 \right)^2} = 2,734 * 10^{-6}$$

$$\Delta K_3 = \sqrt{\left( \frac{0,000041}{18,00172} \right)^2 + \left( \frac{0,00175}{18,00172^2} * 0,0184 \right)^2} = 2,28 * 10^{-6}$$

$$\delta_1 = (\Delta K_1 / K_1) * 100\% = (0,000003364 / 0,000103) * 100\% = 3,266\%;$$

$$\delta_2 = (\Delta K_2 / K_2) * 100\% = (0,000002734 / 0,0000966) * 100\% = 2,83\%;$$

$$\delta_3 = (\Delta K_3 / K_3) * 100\% = (0,00000228 / 0,0000972) * 100\% = 2,346\%;$$



## Вывод

Выполнив данную работу были приобретены навыки планирования и выполнения прямых и косвенных однократных измерений. Получили опыт по выбору средств измерений, обеспечивающих решение поставленной измерительной задачи. Были изучены способы обработки и правильного представления результатов прямых и косвенных однократных измерений.

В первом эксперименте «Прямые измерения напряжения на выходе УИП» был использован магнитоэлектрический вольтамперметр, предназначенный для прямых измерений постоянного и силы постоянного тока методом непосредственной оценки, который имеет диапазон измерения постоянного напряжения от 0,075 В до 600 В, а класс точности не превышает 0,5. Абсолютная погрешность измерения была найдена по формуле  $\Delta = (\gamma * X_N) / 100\%$ , где  $X_N$  - нормирующий диапазон, выбираемый нами так, чтобы значение измеряемой физической величины находилась во второй половине диапазона. Результаты измерения занесены в таблицу 1.

Во втором эксперименте «Прямые измерения ЭДС гальванического элемента» был выбран цифровой мультиметр, используемый при моделировании процесса прямых измерений постоянного напряжения и среднеквадратического значения переменного напряжения синусоидальной формы методом непосредственной оценки, с классом точности 0,1/0,02. Абсолютная погрешность измерения была найдена по формуле  $\Delta = (\delta * X_d) / 100$ , где  $X_d$  - показания мультиметра, а  $\delta = \pm [0,1 + 0,02((U_k/U) - 1)]\%$ ,  $U_k$  - конечное значение установленного предела измерений,  $U$  - значение измеряемого напряжения на входе мультиметра. Результаты измерения и расчета приведены в таблице 2.

В третьем эксперименте «Прямые измерения на выходе источника переменного напряжения» использовался электронный милливольтметр, предназначенный для моделирования процесса прямых измерений среднеквадратического значения напряжения в цепях переменного тока синусоидальной и искаженной формы методом непосредственной оценки, который в режиме измерения переменного напряжения имеет диапазон от 0,1 мВ до 300 В и классом точности не превышающим 0,5, при измерении напряжения в диапазонах

от 10 мВ до 300 В. Абсолютная и относительная погрешность рассчитывалась, как в первом эксперименте. Результаты измерения сведены в таблицу 3.

В четвертом эксперименте «Косвенные измерения коэффициента деления делителя напряжения» использовался цифровой мультиметр и делитель напряжения типа 1/10000, с классом точности 0,05. Измерялись напряжения на входе и выходе делителя. Коэффициент высчитывается по формуле  $K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$ , а

абсолютная погрешность  $\Delta K = \sqrt{\left(\frac{\partial K}{\partial U_{\text{вх}}} \Delta U_{\text{вх}}\right)^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial U_{\text{вых}}} \Delta U_{\text{вых}}\right)^2}$ , где  $\Delta U_{\text{вх}} = \frac{\delta * X_{\text{д}}}{100}$ ,  $X_{\text{д}}$  –

показания мультиметра на входе делителя,  $\Delta U_{\text{вых}} = \frac{\delta * X_{\text{д}}}{100}$ ,  $X_{\text{д}}$  – показания

мультиметра на выходе делителя, и  $\frac{\partial K}{\partial U_{\text{вых}}} = \frac{1}{U_{\text{вх}}}$ ;  $\frac{\partial K}{\partial U_{\text{вх}}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}^2}$ . Результаты занесены

в таблицу 4.